

오버컴플릿 기저에 대한 사영을 이용한 오류 은닉 기법

正會員 장 준 호*, 김 정 권**, 이 충 웅**

An Error Concealment Method using Projections onto the Overcomplete Basis

Joon-Ho Chang*, Jeong-Kwon Kim**, Choong Woong Lee** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 구획기반 영상 부호화 시스템에서의 손실된 구획을 복원하기 위한 오류 은닉 기법을 제안한다. 영상 데이터의 전송시 발생하는 비트오류나 셀 손실과 같은 채널 오류는 복원영상에서 영상 구획의 손실로 나타난다. 손실 구획 복원은 제대로 수신된 인접 정보로부터 손실 구획을 추정하는 것이다. 본 논문에서는 손실 구획 복원을 위하여 손실 구획을 포함하는 대구획에 대한 오버컴플릿 기저를 도입하고 손실 구획의 인접 정보를 오버컴플릿 기저 함수에 순차적으로 사영함으로써 손실 구획을 복원하는 기법을 제안한다. 전산모의실험을 통하여 제안방법이 기존의 방법보다 복원영상의 객관적인 화질과 주관적인 화질 면에서 우수함을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an error concealment method to recover damaged blocks for block-based image coding schemes. Channel errors during transmission of image data such as bit errors or cell loss result in damaged image blocks in the reconstructed images. To recover damaged blocks is to estimate them using the correctly received or undamaged neighborhood information. In the proposed method, an overcomplete basis for a large block containing a damaged block at its center is introduced and damaged blocks are recovered by sequentially projecting the known neighborhood information onto the overcomplete basis function. Computer simulations show that the proposed algorithm outperforms the conventional method in subjective recovery qualities as well as objective ones.

I. 서 론

JPEG 표준⁽¹⁾ 및 벡터 양자화기⁽²⁾와 같은 구획 기반 영상 부호기들이 많은 응용 분야에서 광범위하게 사용되어 왔다. 구획 구조의 사용은 영상 정보의 구획 간 처리, 적응 및 병렬 처리를 가능하게 한다. 예를 들어, JPEG 표준은 영상 정보를 압축하기 위하여 구획

*서울대학교 전자공학과
**서울대학교 전기공학부
論文番號:97124-0404
接受日字:1997年 4月 4日

분할, 구획 이산 코사인 변환 (DCT) 및 엔트로피 부호화를 채택하고 있고, 벡터 양자화기는 구획분할, 양자화 및 엔트로피 부호화를 사용하고 있다. 이러한 시스템에서 전송시에 발생한 1 비트의 오류도 복원영상에서는 영상 구획 전체를 손상시키고 또한 재동기가 이루어질 때까지 뒤따라오는 여러 구획에 전파될 수 있다. 따라서 신뢰성 있는 영상 통신을 위해서 송신기에서는 손실 구획을 국부화하는 기법이 필요하고, 수신기에서는 손실 구획을 확인하고 복원하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 국부화 기법 및 확인 기법이 복원 기법을 전제하고 있다는 것을 고려하여 손실 구획의 복원에 중점을 둔다.

최근들어, 오류 은닉 기법이라 불리는 손실 구획의 복원에 대한 많은 연구들이 수행되어 왔다.⁽³⁾⁻⁽⁶⁾ (4)-(6)의 오류 은닉 기법들은 표면 연속성(surface continuity)에 근거한 손실 구획 경계에서의 연속성(smoothness)을 이용하여 손실구획의 DCT 계수를 추정하고자 한다. 이들 기법에서는 복원된 구획이 주어진 연속성 척도를 만족하면서 인접 영상 정보에 smooth하게 연결된다. 따라서, 낮은 주파수 성분의 복원은 이루어지지만, 에지와 같은 고주파 성분은 잘 복원되지 않는다. 한편, (7)-(8)의 기법들은 주로 에지 성분에 대한 인간 시각 특성을 고려하여 에지를 복원하고자 한다. 이들 기법들이 비교적 좋은 복원 영상의 주관적 화질을 보여 주지만 경계에서의 연속성과 구획간 상관성이 충분히 이용되지 못하고 있다.

본 논문에서는 구획간 상관성과 경계 연속성을 이용하는 오류 은닉 기법을 제안한다. 제안 기법은 신호공간에서의 복원기법으로 손상되지 않은 주위의 화소값들로부터 손실 구획을 포함하는 대구획의 화소값을 추정하고자 한다. 손실 구획을 포함하는 대구획에 대한 추정치를 오버컴플릿 기저 벡터들의 선형 결합으로 나타내고, 이 추정치에 대한 왜곡척도를 도입한다. 따라서, 이 왜곡척도를 최소화하는 선형계수를 구하는 것이 손실 구획을 복원하는 것이 된다. 알고있는 인접 정보의 오버컴플릿 기저에 대한 순차적인 사영을 통해서 왜곡 척도를 최소화하여 손실 구획을 복원하는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 독립된 손실 구획을 복원하기 위한 오버컴플릿 기저와 사영 기법에 대해 살펴본다. III장에서는 II장에서 설명한

복원기법을 연속된 손실 구획을 복원할 수 있도록 확장한다. IV장에서는 전산모의실험을 통하여 제안 기법의 성능을 평가하고 제안기법을 (5)에서 제안된 DCT 계수 예측 기법과 비교한다.

II. 오버컴플릿 기저에 대한 사영기법

본 논문은 독립된(isolated) 손실 구획을 복원하는 기법을 살펴본 후, 이를 연속된 손실 구획의 문제로 확장하는 구조를 취한다. 독립된 손실 구획이란 (a) 손실 구획에 대한 모든 정보가, 예를 들어, JPEG 표준에서의 모든 DCT 계수들이, 완전히 손실되고 (b) 인접한 8개 구획에 대한 모든 정보는 제대로 수신된 것을 의미한다. JPEG 표준과 같이 인접구획간의 차이 성분을 부호화하는 방법을 사용하는 부호기에서 독립된 손실 구획의 형태로 오류가 나타나는 것은 매우 드물지만 문제를 단순화할 수 있으므로 본 장에서는 독립된 손실 구획에 대한 복원의 문제를 살펴본다.

1. 문제 정의

기존의 오류 은닉 기법들은 알고있는 인접구획으로부터 손실 구획의 정보를 추정하고자 하였다.⁽³⁾⁻⁽⁶⁾ 한편, 제안 기법에서는 그림 1과 같이 정의된 손실 구획을 포함하는 대구획을 인접구획의 정보로부터 추정하고자 한다. 그림 1에서 영역 D는 손실구획으로 정지영상 부호화기에서는 보통 8x8 크기이다. 영역

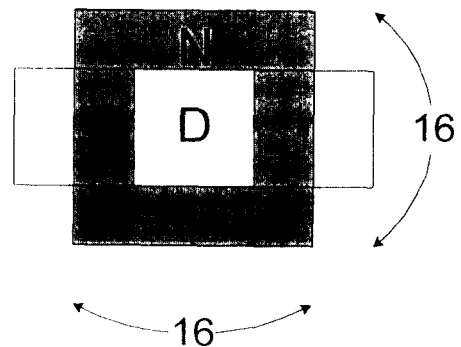


그림 1. 독립된 손실 구획의 경우, 손실 구획 D, 제대로 수신된 인접구획 N과 U의 구성

Fig. 1. A damaged block D, the correctly received neighborhood N, and their union U in the case of isolated blocks.

U는 영역 D를 가운데에 포함하는 대구획으로 제안 기법에서는 16x16의 크기로 가정한다. 그리고, 빗금 친 영역 N은 제대로 수신된 손상되지 않은 인접구획의 정보들(화소값들)로 구성된다.

$\mathbf{f}=(f_{i,j}), (i,j) \in U$ 를 원래의 손상되지 않는 화소값들로 구성된 벡터라고 한다. 원소들이 영역 U에서 정의된 집합 $B=\{\mathbf{b}_l | \mathbf{b}_l=(b_{i,j}^l), (i,j) \in U\}$ 가 있는데, 그 원소 \mathbf{b}_l 이 $\langle \mathbf{f}, \mathbf{b}_l \rangle_N = \sum_{(i,j) \in N} f_{i,j} b_{i,j}^l$ 이 $\langle \mathbf{f}, \mathbf{b}_l \rangle_U = \sum_{(i,j) \in U} f_{i,j} b_{i,j}^l$ 에 대한 좋은 추정치가 되는 성질이 있다고 한다. 그리고, 첨자 U와 N을 이용하여 벡터 \mathbf{f} 와 \mathbf{b}_l 가 정의된 영역을 가르키도록 한다. 즉, \mathbf{f}_N 과 $\mathbf{b}_{l,N}$ 은 영역 N에서 정의된 벡터들로 영역 D에 속하는 값들은 0으로 채워진 것으로 생각할 수 있고, \mathbf{f}_U 와 $\mathbf{b}_{l,U}$ 은 원래의 \mathbf{f} 와 \mathbf{b}_l 과 같다. 그러면, $\hat{\mathbf{f}}_N \cong \sum_l a_l \mathbf{b}_{l,N}$ 이 되는 계수 a_l 을 찾으면 $\hat{\mathbf{f}}_U = \sum_l a_l \mathbf{b}_{l,U}$ 가 \mathbf{f}_U 에 대한 좋은 추정치가 될 것이다. 알고있는 정보가 N에서의 화소값이므로 추정치에 대한 왜곡척도(distortion measure)를 식 (1)과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} \Psi(\hat{\mathbf{f}}) &= \|\mathbf{f} - \hat{\mathbf{f}}\|_N^2 \\ &= \sum_{(i,j) \in N} (f_{i,j} - \hat{f}_{i,j})^2 \\ &= \sum_{(i,j) \in N} (f_{i,j} - \sum_l a_l b_{i,j}^l)^2 \end{aligned} \quad (1)$$

따라서, 본 논문에서의 오류 은닉의 문제는 집합 $B=\{\mathbf{b}_l\}$ 이 주어져 있을 때, 왜곡척도 $\Psi(\hat{\mathbf{f}})$ 를 최소로 하는 계수 a_l 을 찾는 것이 된다.

2. 오버컴플릿 기저

오류 은닉의 문제를 식 (1)을 최소화하는 계수 a_l 을 구하는 것으로 생각할 수 있으려면, $\hat{\mathbf{f}}_U = \sum_l a_l \mathbf{b}_{l,U}$ 이 \mathbf{f}_U 에 대한 좋은 추정치인 것이 전제되어야 한다. 앞에서 설명한 것처럼, $\hat{\mathbf{f}}_U = \sum_l a_l \mathbf{b}_{l,U}$ 이 \mathbf{f}_U 에 대한 좋은 추정이 되기 위해서는 다음의 조건을 만족하여야 한다. 아래의 조건들에서 조건 (a)는 집합 B의 원소들이 가져야 할 특징을 제한하고 조건 (b)는 집합 B가 가져야 할 성질을 가리킨다.

- (a) $\langle \mathbf{f}, \mathbf{b}_l \rangle_N$ 이 $\langle \mathbf{f}, \mathbf{b}_l \rangle_U$ 에 대한 좋은 추정치일 것.
- (b) 임의의 \mathbf{f}_N 에 대해서 $\mathbf{f}_N \cong \sum_l a_l \mathbf{b}_{l,N}$ 을 만족하는 계수 a_l 이 존재할 것.

우선 조건 (b)에 대해서 살펴보면, 조건 (b)는 임의의 영상 신호 \mathbf{f}_N 이 주어졌을 때, 이를 집합 B의 원소들의 선형 결합으로 근사할 수 있어야 한다는 것을 의미한다. 따라서, 조건 (b)는 집합 B가 N에서 정의된 유클리드 공간(Euclidian space) \mathbf{R}^N 을 생성(span)할 수 있도록 구성하면, 쉽게 만족된다. 집합 B가 \mathbf{R}^N 을 생성하는 경우에는 생성의 정의로부터 $\mathbf{f}_N = \sum_l a_l \mathbf{b}_{l,N}$ 을 만족하는 계수 a_l 들이 존재하므로, 추정치 Ψ 의 최소값은 0이 된다. 이러한 성질을 가지는 집합들 중에는 널리 사용되고 있는 2차원 DCT 변환에 사용되는 식 (2)와 같은 DCT 변환 기저가 포함된다. 식 (2)의 벡터로 구성되는 2차원 DCT 기저는 U에서 정의된 유클리드 공간 \mathbf{R}^U 에 대한 직교기저(orthogonal basis)를 구성하므로 식 (2)의 벡터들이 \mathbf{R}^N 을 생성한다.

식 (2)에서, (i, j) 는 신호공간 상에서의 화소 위치, (u, v) 는 변환공간 상에서의 주파수를 나타내는데 그 범위는 $0 \leq u, v \leq BS-1$ 이다. 한편, BS는 DCT 변환이 행해지는 구획의 크기를 가르키며 영역 U의 수평(수직) 크기에 해당한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{b}_{u,v} &= (b_{i,j}^{u,v}) \\ &= (\cos \frac{\pi(2i+1)u}{2BS} \cos \frac{\pi(2j+1)v}{2BS}), 0 \leq i, j \leq BS-1 \end{aligned} \quad (2)$$

조건 (a)는 집합 B의 원소들이 가져야 할 조건으로 앞 절에서의 문제 정의가 타당성을 갖기 위한 더 근본적인 조건이라 할 수 있다. 조건 (a)가 성립하기 위해서는 집합 B의 원소들이 그림 1에서의 영역 D와 영역 U에서 균일한(homogeneous) 패턴을 가져야 할 것이다. 예를 들어, 식 (2)의 DCT 변환 기저의 경우에는 기저 벡터가 1차원 코사인(cosine) 함수의 곱으로 이루어져 있으므로 모자이크 모양의 패턴이 나타나는데 모자이크 패턴의 크기가 영역에 따라 달라진다.⁽¹⁰⁾ 따라서, DCT 변환 기저 벡터는 영역 D와 영역 N에서 균일한 모양을 나타내지 못하므로 $\langle \mathbf{f}, \mathbf{b}_l \rangle_N$ 이 $\langle \mathbf{f}, \mathbf{b}_l \rangle_U$ 에 대한 추정치를 나타낸다고 할 수 없다. 따

라서, 본 제안 방법에서는 조건 (b)를 만족하는 집합 B 를 식 (3)의 벡터들로 구성한다. 식 (2)의 벡터들은 식 (3)의 벡터들의 합으로 구할 수 있으므로 식 (3)의 벡터로 구성된 집합 B 는 \mathbf{R}^N 을 생성한다.

$$\begin{aligned} \mathbf{b}_{u,v} &= (b_{i,j}^{u,v}) \\ &= (\cos \frac{\pi(2i+1)u + \pi(2j+1)v}{2BS}), 0 \leq i, j \leq BS-1 \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서 정의된 벡터 $\mathbf{b}^{u,v}$ 는 식 (2)의 벡터들을 삼각함수 분해공식을 이용하여 분해하여 얻어진 것이다. 식 (3)의 벡터는 1차원 코사인 함수를 직선을 따라 2차원으로 확장하여 얻어진 것이므로 영역 D 와 영역 U 에서 균일한 모양을 갖는다. 제안방법에서는 오류 은닉의 문제를 해결하는데 식 (3)에서 정의된 벡터들이 사용된다. 한편, 식 (3)이 삼각함수 분해공식으로 얻어진 것이므로 주파수 (u, v) 의 범위는 $0 \leq u \leq BS-1$ 과 $-(BS-1) \leq v \leq BS-1$ 이 된다.

또한, 식 (3)에서 정의된 벡터들이 1차원 함수를 2차원으로 확장하여 구해진 것이므로 방향성이 있는 모양(directional pattern)이 된다. 즉, 같은 값을 가지는 벡터의 원소들을 연결하면 2차원 평면에서 직선을 형성하게 된다. 따라서, 식 (3)의 벡터들의 선형 결합으로 손실 구획을 복원하는 것은 예지와 같이 방향성을 가지는 영상 신호를 잘 복원할 수 있다. 인간 시각 특성의 예지에 대한 감도(sensitivity)를 고려한다면 집합 B 가 이러한 성질을 가지는 것은 바람직하다고 할 수 있다.

3. 오버컴플릿 기저에 대한 사영기법

손실 구획을 복원하는 문제는 식 (3)에서 정의된 벡터들의 선형 결합으로 영역 N 에서의 화소값들을 나타낼 수 있도록 계수 a_l 을 구하는 것이다. 만약, 집합 B 가 영역 N 에서 정의된 유클리드 공간에 대한 직교 정규기저(orthonormal basis)를 형성한다면, 손실구획 복원의 문제를 해결하는 계수 a_l 은 \mathbf{f}_N 을 $\mathbf{b}_{l,N}$ 에 사영(projection)함으로써 쉽게 구해진다. 즉, $\langle \mathbf{f}, \mathbf{b}_l \rangle_N$ 이 Ψ 를 최소화하는 계수 a_l 의 크기이다. 그러나, 식 (3)의 벡터들로 구성된 집합은 \mathbf{R}^N 에 대한 오버컴플릿 기저를 형성한다. 따라서, 단순히 \mathbf{f}_N 을 $\mathbf{b}_{l,N}$ 에 사영하여 원하는 a_l 을 구할 수 없다. Ψ 를 최소화하는 계

수 a_l 을 구하기 위하여 오버컴플릿 기저에 대한 사영(projections onto overcomplete basis:POCB) 알고리즘을 제안한다. POCB 알고리즘은 최대 에너지를 갖는 사영계수를 순차적으로 찾아감으로써 Ψ 를 최소화한다.

POCB 알고리즘에 대한 설명에 앞서서 몇 가지 정의를 도입한다. 식 (3)의 벡터를 $\|\mathbf{b}^{u,v}\| \sqrt{\sum_{i,j \in N} (b_{i,j}^{u,v})^2}$ 로 정규화한다. 즉, 수정된 벡터 $\tilde{\mathbf{b}}_{l(u,v)} = \mathbf{b}^{u,v} / \|\mathbf{b}^{u,v}\|_N$ 은 영역 N 에서의 norm이 1이 된다. $l(u, v)$ 는 2차원 인덱스에서 1차원 인덱스로의 임의의 일대일 함수이다. 이러한 정규화는 POCB 알고리즘에서 최대 에너지를 갖는 사영계수를 순차적으로 찾는 것과 예측오차 신호 $\mathbf{f} - \hat{\mathbf{f}}$ 에 대한 사영계수를 갱신하는 것을 단순화한다. 그리고, B_N 은 수정된 벡터 $\tilde{\mathbf{b}}_l$ 로 구성된 집합 B 의 원소 개수를 가르키고, $c_{i,j}$ 는 $\tilde{\mathbf{b}}_i$ 와 $\tilde{\mathbf{b}}_j$ 의 상호상관계수, 즉, $\langle \tilde{\mathbf{b}}_i, \tilde{\mathbf{b}}_j \rangle_N$ 을 나타낸다.

POCB 알고리즘의 각 단계는 다음과 같다.

단계 1) \mathbf{f} 의 사영계수를 계산하고 예측치 $\hat{\mathbf{f}}$ 를 초기화한다.

- 사영계수계산: $p_l^0 = \langle \mathbf{f}, \tilde{\mathbf{b}}_l \rangle_N, 0 \leq l \leq B_N - 1$
- 초기화: $k=0$ 및 $\hat{\mathbf{f}}^0 = 0$

단계 2) 순차추정

- 최대 에너지를 갖는 사영계수를 찾는다.
- $$l^* = \arg \max_{0 \leq l \leq B_N - 1} |p_l^k|$$
- 추정치 $\hat{\mathbf{f}}_U$ 를 갱신한다.

$$\hat{\mathbf{f}}_U^{k+1} = \hat{\mathbf{f}}_U^k + p_{l^*}^k \cdot \tilde{\mathbf{b}}_{l^*}$$

- 예측오차에 대한 사영계수를 갱신한다.

$$\begin{aligned} p_{l^*}^{k+1} &= \langle \mathbf{f} - \hat{\mathbf{f}}^{k+1}, \tilde{\mathbf{b}}_{l^*} \rangle_N \\ &= p_{l^*}^k - c_{i,j} p_{l^*}^k, 0 \leq l \leq B_N - 1 \end{aligned}$$

단계 3) 주어진 정지 조건(stopping condition)을 만족하면 중지한다. 그렇지 않으면, $k = k + 1$ 로 하고 단계 2)로 간다.

POCB 알고리즘이 Ψ 를 최소화한다는 것은 보장되는데, 그 증명은 Appendix A에 주어져 있다. 실험에서는 정지조건으로 $\frac{\|\mathbf{f} - \hat{\mathbf{f}}^{k+1}\|_N^2 - \|\mathbf{f} - \hat{\mathbf{f}}^k\|_N^2}{\|\mathbf{f} - \hat{\mathbf{f}}^k\|_N^2} < \epsilon$ 이 사용되었는데, ϵ 이 0.1-1의 범위에서 안정된 복원 결과를 나

타내었다.

4. 경계 연속성

영상신호가 갖고 있는 표면연속성(surface continuity)은 손실 구획 복원에서는 손실 구획의 경계에서의 연속성(boundary continuity)으로 나타난다. (4)-(6)의 오류 은닉 기법들은 이러한 경계 연속성을 손실 구획의 복원에 이용하였다. 제안기법에서도 경계 연속성을 고려함으로써 복원 영상을 개선할 수 있다. 영상 신호에서 화소값들은 인접 화소와 매우 높은 상관성을 갖고 있는데,⁽⁹⁾ 이러한 상관성을 이용하여 그림 2와 같이 손실 구획의 경계에 있는 손상되지 않은 화소값들을 손실구획으로 1화소 만큼 확장한다. 즉, 손실 구획의 가장 바깥에 있는 화소들이 가장 근접한 위치에 있는 알고 있는 화소값으로 채워진다. 이러한 확장이 이루어지면, 영역 D와 영역 N의 모양이 그림 1과는 달라지게 된다. 그러나, 이러한 영역의 변화는 POCB 알고리즘의 초기 사영치와 기저 벡터간의 상호상관계수에만 영향을 미치므로 POCB 알고리즘에 쉽게 수용될 수 있다. 실험 결과, 이러한 경계 연속성을 POCB 알고리즘에 도입하는 것은 복원 영상의 Peak Signal to Noise Ratio(PSNR) 값에서 0.5-1.0 dB 정도의 개선 효과를 나타낸다.

III. 연속된 손실 구획 복원

대부분의 영상 부호화 시스템은 높은 압축율을 얻기 위해서, 구획 분할 및 엔트로피 부호화 등을 채택하고 있다. 예를 들어, JPEG 표준은 영상 정보를 압축하기 위하여 구획 분할, 구획 이산 코사인 변환(DCT) 및 허프만(Huffman) 부호화를 채택하고 있다. 또한, 구획간 상관성을 이용하기 위하여 DPCM(Differential PCM) 구조의 부호화 방법도 채택하고 있다. 이러한 시스템에서 전송시 발생한 1 비트의 오류도 복원영상에서는 해당 영상 구획 전체를 손상시키고 또한 재동기가 이루어질 때까지 뒤따라오는 여러 구획에 전파될 수 있다. 특히, Asynchronous Transfer Mode(ATM) 환경에서의 셀 손실의 영향은 여러 구획에 걸쳐서 나타난다. 따라서, 실제의 영상통신 시스템에 독립된 손실 구획이 발생할 가능성은 매우 낮고 오히려 손실 구획이 연속해서 발생하는 stripe 모양의 손실 구획이 발생하기 쉽다. II장에서 설명한 독립된

손실 구획을 복원하는 POCB 알고리즘을 연속된 손실 구획을 복원할 수 있도록 확장한다.

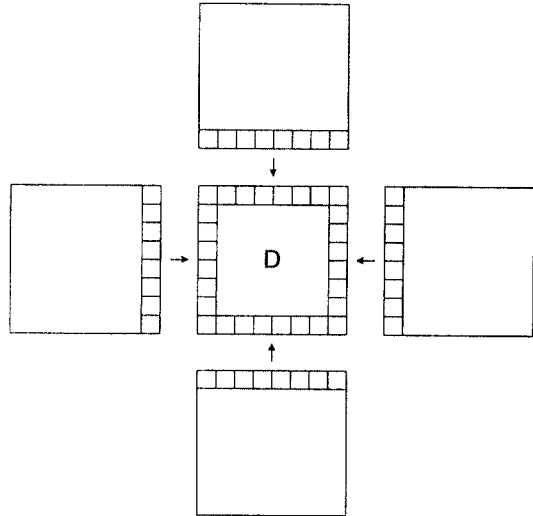


그림 2. 경계 연속성을 위한 경계 화소의 확장

Fig. 2. Extension of the boundary pixels for boundary continuity.

제안한 POCB 알고리즘은 영역 D와 영역 N을 수정함으로써 매우 쉽게 연속된 손실 구획을 복원할 수 있도록 확장될 수 있다. 손실 구획이 연속해서 발생할 경우에는, 영역 D와 영역 N의 구성이 그림 1과는 달라지게 된다. 손실 구획이 연달아 존재하기 때문에, 임의의 손실 구획에서 왼쪽과 오른쪽에 있는 구획들도 손실된 구획들이 된다. 그러나, 손실 구획의 복원을 송신기에서의 구획 부호화와 같은 차례로 진행하면, 왼쪽의 손실 구획은 현재의 손실 구획을 복원하기 전에 복원되어 있다. 따라서, 연속된 손실 구획의 경우의 영역 D와 영역 N의 새로운 구성은 그림 3과 같아진다. 그러므로, 연속된 손실 구획의 복원은 POCB 알고리즘을 이 새로운 영역 D와 영역 N에 대해서 수행하면 된다. 그림 3에서 영역 D는 현재의 손실 구획과 오른쪽에 존재하는 손실 구획의 왼쪽 절반으로 구성되어 있다. 따라서, 연속 손실 구획을 복원하는 POCB 알고리즘은 독립된 손실 구획 복원의 경우와 비교해서 더 적은 영역의 알고있는 정보로부터 더 넓은 영역의 손실 구획을 복원해야 한다. 즉, 복원

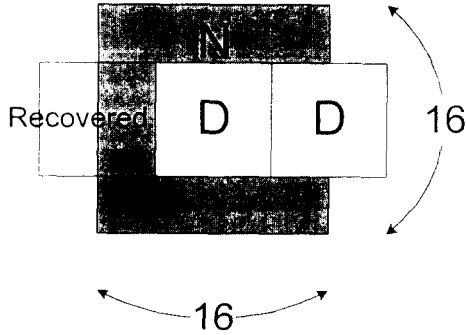


그림 3. 연속된 손실 구획의 경우, 손실 구획 D, 제대로 수신된 인접구획 N과 U의 구성

Fig. 3. A damaged block D, the correctly received neighborhood N, and their union U in the case of contiguously damaged blocks.



(a)

된 화소값들의 신뢰도가 독립된 손실 구획의 경우보다 낮아진다. 이를 고려하여, 현재의 손실 구획의 왼쪽 절반만을 POCB 알고리즘의 출력으로 취한다. 즉, POCB 알고리즘은 부호화 구획의 절반, 즉, 8x4 크기의 구획을 복원 화소값으로 출력한 후, 부호화 구획의 수평 크기의 절반, 즉, 4화소만큼을 오른쪽으로 이동하여 새로운 손실 구획을 구성하고 복원을 수행한다.

IV. 실험 결과

제안기법의 성능을 전산모의실험을 통하여 평가하였다. 512x512 크기의 Lena 원영상과 Barbara 원영상이 실험에 사용되었다. 두 영상은 평탄부, 에지 및 복잡한 텍스처(complex texture)를 모두 포함하고 있어서 제안기법의 성능평가에 적합하다. 독립된 손실 구획의 경우와 연속된 손실 구획의 경우에 대해서 실험을 수행하였다. 그림 4(a)와 그림 5(a)이 매 2x2 구획이 손실된 Lena 영상과 Barbara 영상을 나타낸다. 그림 4(a)와 그림 5(a)는 대략 23.5%의 구획손실율(block loss rate)에 해당한다. 제안기법에 의해서 복원된 영상은 그림 4(b)와 그림 5(b)에 각각 주어져 있다. 복원 영상들로부터 제안기법이 평탄부, 에지 성분 및 고주파 성분의 복잡한 텍스처를 효과적으로 복원할 수 있음을 알 수 있다. 제안기법에 의해서 복원된 영상은 객관적인 화질뿐만이 아니라 주관적으로도 우수한 품질을 나타낸다.



(b)

그림 4. (a) 매 2x2 구획이 손실된 Lena 영상 (12.0 dB) (b) 제안기법에 의해 복원된 Lena 영상 (33.2 dB)

Fig. 4. (a) Lena image with every 2x2 blocks damaged (12.0 dB). (b) Lena image recovered by the proposed method (33.2 dB).



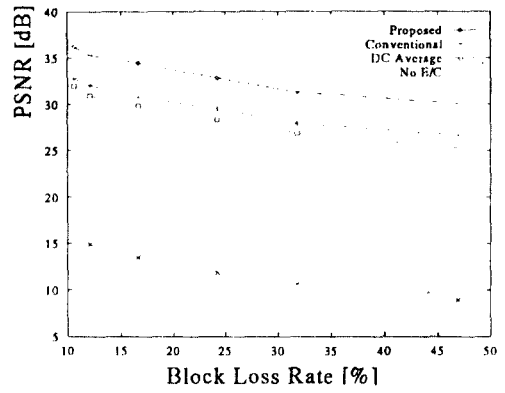
(a)



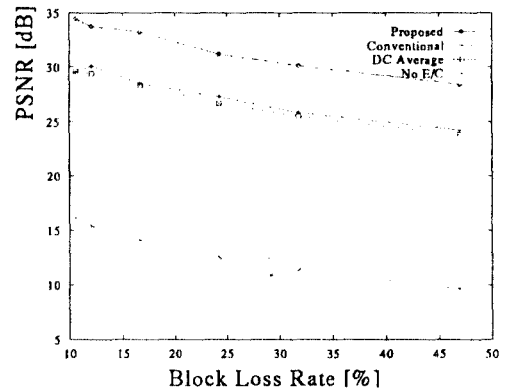
(b)

그림 5. (a) 매 2x2 구획이 손실된 Barbara 영상 (12.7 dB)
(b) 제안기법에 의해 복원된 Barbara 영상 (31.5 dB)

Fig. 5. (a) Barbara image with every 2x2 blocks damaged.
(b) Barbara image recovered by the proposed method (31.5 dB).



(a)



(b)

그림 6. 연속된 손실 구획 경우에 대한 PSNR 성능 (a) Lena 영상 (b) Barbara 영상.

Fig. 6. PSNR performance in the case of contiguously damaged blocks. (a) Lena image. (b) Barbara image.

한편, 연속된 손실 구획의 경우에는, 구획 손실율에 따른 PSNR 성능의 변화를 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 구획손실율이 24.2%일 때의 복원영상의 PSNR 값이 각각 32.84 dB (Lena 영상), 31.19 dB (Barbara 영상)로 나타났는데, 이것은 연속된 손실 구획에 대한 제안기법의 복원 성능이 같은 구획 손실율에서의 독립된 손실 구획에 대한 복원성능에 비해서 그다지 차이가 없는 것을 의미한다. 또한, 그림 6에 기존의 주파수 영역 예측 기법(5)의 결과도 제안기법과의 성능비교를 위하여 함께 나타내었다. 제안기법의 성능이 PSNR 성능에서 3-5 dB 정도 우수함을 알

수 있다. 그리고, 그 차이가 Barbara 영상을 복원하는 경우에 더 커지는 것으로 나타났는데, 이는 Barbara 영상이 Lena 영상에 비해서 고주파 성분의 복잡한 텍스처 성분을 더 많이 포함하고 있고 제안기법이 텍스처 성분의 복원에 우수한 성능을 나타내기 때문으로 여겨진다.

V. 결 론

본 논문에서는 손실 구획 주위의 손실되지 않은 정보를 오버킵플릿 기저에 대하여 순차적으로 사영함으로써 손실 구획을 복원하는 기법을 제안하였다. 기존의 오류 은닉 기법들은 알고 있는 정보로부터 손실 구획을 예측하는 기법들이었다. 그러나, 제안기법에서는 오류 은닉을 손실 구획을 포함하는 대구획을 알고 있는 정보로부터 예측하는 것으로 정의하고, 주위의 알고 있는 정보의 오버킵플릿 기저 벡터에 대한 사영이 손상되지 않은 원래 신호의 오버킵플릿 기저 벡터에 대한 좋은 예측치가 되도록 오버킵플릿 기저를 구성하였다. 제안기법에서 사용한 오버킵플릿 기저는 1차원 DCT 변환기저와 유사한 모양을 나타내어 방향성 갖게 되고 이러한 방향성 때문에 제안기법은 에지 성분의 복원에 우수한 성능을 나타내었다. 또한, 오버킵플릿 기저의 완전성(completeness) 때문에, 복잡한 텍스처 성분을 효과적으로 복원할 수 있었다.

전산모의실험을 통하여, 제안기법이 평탄부, 에지 및 복잡한 텍스처를 효과적으로 복원하여, 객관적인 화질과 주관적인 화질에서 우수한 성능을 나타냄을 확인하였다. 기존의 복원기법과의 비교평가에서도 PSNR 성능에서 3-5 dB 정도의 우수함을 보였다. 제안기법은 구획기반 영상부호기에서의 손실 구획의 복원을 목적으로하여 전개되었지만, 기존의 기법과는 달리 임의의 모양을 가지는 손실 구획의 복원에도 적용가능하다. 따라서, 최근들어, 많은 논의가 이루어지고 있는 MPEG-4와 같은 시스템에서의 응용도 가능하다.

Appendix A. POCB 알고리즘의 수렴 증명

POCB 알고리즘이 \forall 를 최소화하는 것은 아래와 같이 보장된다. 아래의 식에서 norm과 내적은 영역 N에서의 norm과 내적을 의미한다. 벡터가 정의된 영역

을 가르키는 첨자 N은 생략한다.

$$\begin{aligned} & \|f - \hat{f}^{k+1}\|^2 \\ &= \|f - (\hat{f}^k + p_{i^*}^k, \tilde{b}_{i^*})\|^2 \\ &= \|f - \hat{f}^k\|^2 + \|p_{i^*}^k, \tilde{b}_{i^*}\|^2 - 2 \langle f - \hat{f}^k, p_{i^*}^k, \tilde{b}_{i^*} \rangle \\ &= \|f - \hat{f}^k\|^2 + (p_{i^*}^k)^2 - 2 p_{i^*}^k \langle f - \hat{f}^k, \tilde{b}_{i^*} \rangle \\ &= \|f - \hat{f}^k\|^2 + (p_{i^*}^k)^2 - 2 p_{i^*}^k p_{i^*}^k \\ &\leq \|f - \hat{f}^k\|^2 \end{aligned}$$

위식에서 등호는 $p_{i^*}^k = 0$ 일 때 성립하는데 이는 $f = \hat{f}^k$ 를 가르키며 더 이상의 순차 사영이 필요없음을 의미한다.

참 고 문 헌

1. W. Pennebaker and J. L. Mitchell, *JPEG Still Image Data Compression Standard*, Van Nostrand Reinhold, 1993.
2. A. Gersho and R. M. Gray, *Vector Quantization and Signal Compression*, Kluwer Academic Publisher, 1992.
3. M. Ghanbari and V. Seferidis, "Cell-loss concealment in ATM video codecs," *IEEE Trans. on CAS-VT*, vol. 3, no. 3, pp. 238-247, June 1993.
4. J. W. Kim, D. S. Kim, and S. U. Lee, "On the error concealment technique for DCT based image," *Proc. ICASSP*, vol. III, pp. 293-296, Adelaide, Australia, Apr. 1994.
5. S. S. Hemami and T. H.-Y. Meng, "Transform coded image reconstruction exploiting interblock correlation," *IEEE Trans. on IP*, vol. 4, no. 7, pp. 1025-1027, July 1993.
6. K.-H. Jung, J.-H. Chang, and C. W. Lee, "Error concealment technique using projection data for block-based image coding," *Proc. SPIE-VCIP*, vol. 2308, pp. 1466-1467, Sep. 1994.
7. X. Lee, A. Leon-Garcia, and Y. Q. Zhang, "Information loss recovery for block-based image coding techniques: A fuzzy logic approach," *Proc. SPIE*, vol. 2094, pp. 527-541, 1993.
8. H. Sun and W. Kwok, "Concealment of damaged

block transform coded images using projections onto convex sets," *IEEE Trans. on IP*, vol. 4, no. 4, Apr. 1995.

9. T. Kim, "Side match and overlap match vector quantizers for images," *IEEE Trans. on IP*, vol. 1, no. 2, Apr. 1992.
10. A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1989.
11. MPEG96/N1380, *MPEG-4 Video Verification Model Version 4.0*, Draft in Progress, Oct. 1996.



장 준 호(Joon-Ho Chang) 정회원
1990년 2월:서울대학교 전자공
학과 졸업(공학사)
1992년 2월:서울대학교 전자공
학과 석사졸업(공학
석사)
1992년 3월~현재:서울대학교 전
자공학과 박사과정 재
학중

※주관심분야: 영상신호처리 및 압축, 오류은닉기법,
멀티미디어 서비스



김 정 권(Jeong-Kwon Kim) 정회원
1995년 2월:서울대학교 전자공
학과 졸업(공학사)
1997년 2월:서울대학교 전자공
학과 석사졸업(공학
석사)
1997년 3월~현재:서울대학교 전
기공학부 박사과정 재
학중

※주관심분야: 영상신호처리 및 압축, 웨이블릿 변환,
무선 영상통신

이 충 웅(Choong wong Lee)

정회원

한국통신학회논문지 제22권2호 참조